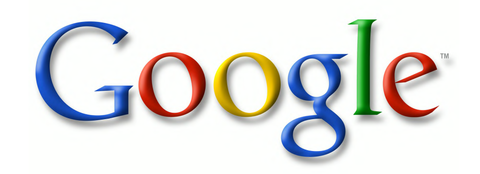
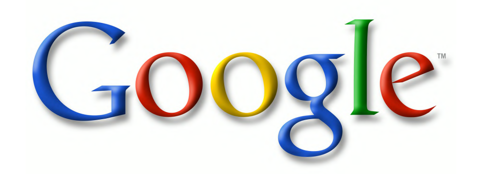






Die

Dampfturbine

von Zoelly.

Von

Max Dietrich

Marine-Oberingenieur a. D.

Dritte erweiterte Auflage.

Mit 14 Abbildungen und Tabelle der Versuchsresultate.



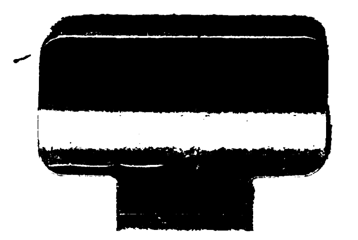
Rostock.

C. J. E. Volckmann (Volckmann & Wette)

Maritim-wirtschaftlicher und technischer Verlag.

1905.

Preis Mk. 1. —.



Die
Dampfturbine von Zoelly.

Von

Max Dietrich

Marine-Oberingenieur a. D.

Dritte Auflage.

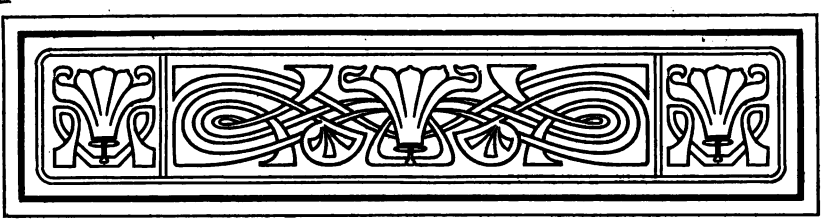
Mit 14 Abbildungen und Tabelle der Versuchsresultate.



Rostock.

C. J. E. Volckmann (Volckmann & Wette)

1905.



Die bedeutenden Erfolge, welche die Dampfturbine in neuerer Zeit erlangte, führten dazu, daß Ende des Jahres 1903 von der „Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft" (A. E.-G.) eine „Allgemeine Turbinen-Gesellschaft" gegründet wurde, die sich die Patente von Riedler-Stumpf, Curtis, und etwas später auch durch Aktienbeteiligung an Brown, Bovery & Co., das Parsonssche Turbinenpatent sicherte.

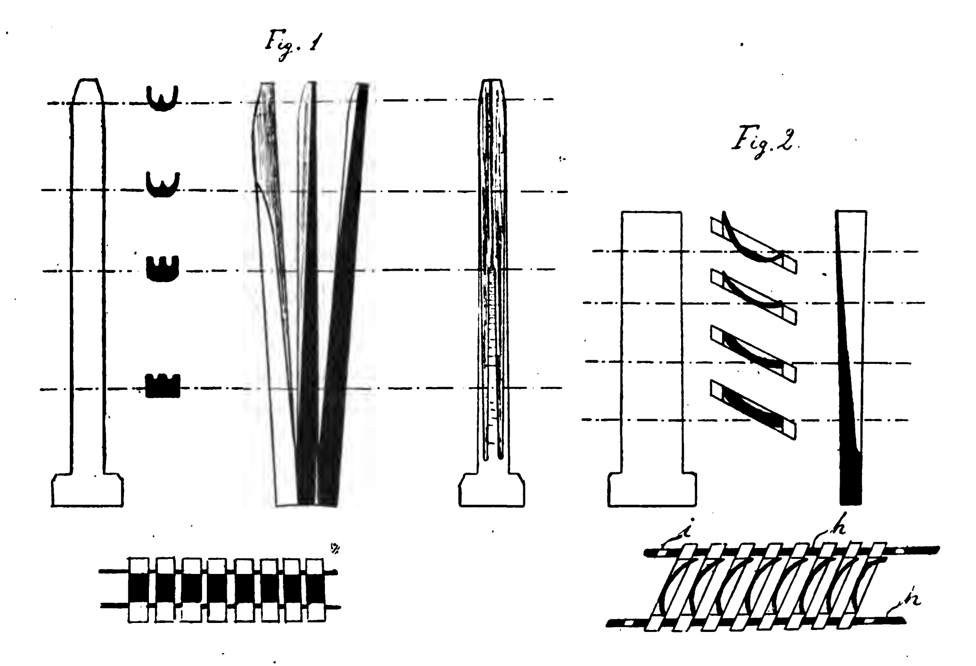
Diese Gründung hat aber sehr bald einen tatkräftigen Nebenbuhler erhalten, denn Mitte Februar 1904 ist ein Syndikat für Dampfturbinen gebildet worden, an dem die hervorragendsten industriellen Firmen Deutschlands, wie Fried. Krupp-Essen, Siemens-Schuckert-Berlin, Nürnberg u. a. beteiligt sind. Dieses Syndikat verfolgt den Zweck, die von der Firma Escher, Wyss & Co. in Zürich gebaute Dampfturbine, System Zoelly, zur Anwendung zu bringen.

Über die Zoelly-Turbine und deren konstruktive Details ist bis jetzt sehr wenig an die Öffentlichkeit gelangt. In dem Werk über Dampfturbinen von Professor Dr. A. Stodola in Zürich ist eine kurze Beschreibung vorhanden und die Turbine in einer Durchschnittszeichnung dargestellt, dann aber geben die

Patentschriften, die auf Patente von Moritz Veith-Zürich und auf die Aktiengesellschaft Maschinenfabriken von Escher, Wyss & Co., Zürich, veröffentlicht sind, den nötigen Aufschluß.

Als Betriebskraft der Zoelly-Turbine ist durchweg neben Dampf noch Gas genannt.

Die Dampfturbine von Zoelly ist eine Druck- oder Aktionsturbine, die in erster Zeit einstufig, später mit mehreren und zuletzt mit zehn Stufen zur Ausführung gelangte.



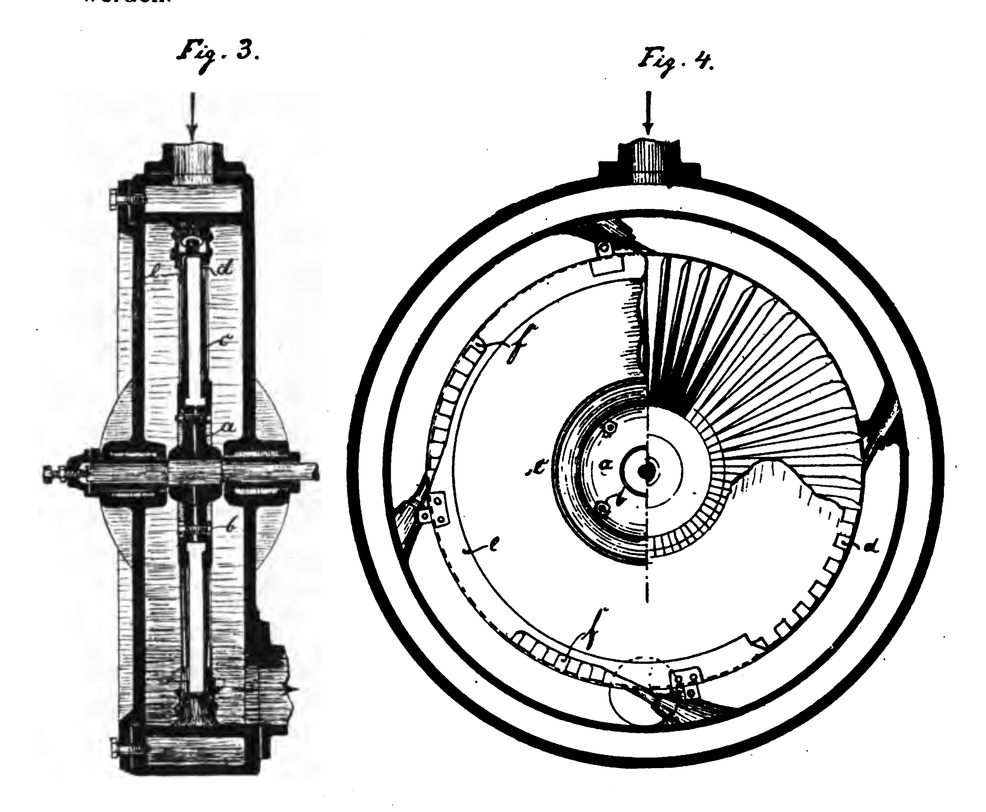
In ihren allgemeinen Ausführungen schließt sich die Zoelly-Turbine der von Rateau an, die Konstruktion und die Herstellungsweise der einzelnen Teile ist aber eine wesentlich andere.

Der Unterschied zwischen den genannten Systemen, der hauptsächlich bei den Laufrädern besteht, geht aus der nachfolgenden Beschreibung deutlich hervor.

Wenn man die Entwickelung der Zoelly-Turbine nach den einzelnen Patenten verfolgt, so ist besonders die Bauart des

Laufrades auffallend, und bildet hauptsächlich dieses Rad die Eigentümlichkeit der Zoelly-Turbine.

Dieses Laufrad wird durch eine strahlenförmige Anordnung von federnden Schaufeln gebildet, welche zwischen zwei Nabenscheiben mittels einer geringen Anzahl Schrauben gehalten werden.



Die Schaufeln sind in den Figuren 1 und 2 dargestellt. Dieselben sind so bearbeitet, daß der Querschnitt der verhältnismäßig langen Strahlen, wie die Schaufeln auch genannt werden, von dem Umfange nach der Radachse zu in einer bestimmten, gesetzmäßigen Weise zunimmt, wodurch die Schaufeln auf ihrer ganzen Länge die gleiche Widerstandsfähigkeit besitzen und die Festigkeit in bezug auf die Zentrifugalkraft und den Druck des treibenden Dampfes überall konstant bleibt.

Das äußere Ende der Strahlen ist als Aktionsturbinenschaufel ausgebildet, die sich in keiner Weise von der Peltonradschaufel unterscheidet.

Die Strahlen und ebenso die übrigen Teile des Laufrades sind aus Stahl hergestellt.

Das eigentliche Laufrad, siehe die Figuren 3, 4, 6 und 7, besteht aus zwei Scheiben a, welche durch die Verbindungsschrauben b zusammengehalten werden. Diese beiden Scheiben bilden die Nabe des Rades und tragen an ihrem Umfange die strahlenförmig angeordneten Schaufeln. Zu diesem Zweck sind an den Rändern der Scheiben a ringförmige Nuten vorgesehen, und die Schaufeln selbst haben einen verbreiterten Fuß erhalten, der in diese Nuten paßt. Am Rand jeder Nabenscheibe a ist eine membranartig nach innen federnde Scheibe c befestigt, welche sich, sobald die Verbindungsschrauben b angezogen werden, fest gegen die Schaufeln anlegt. Diese Scheiben c, welche aus demselben Grunde wie die Schaufeln nach der Achse zu an Stärke bezw. Dicke zunehmen, dienen nur dazu, die Zwischenräume der einzelnen Strahlen zuzudecken, damit die Saugwirkung, welche bei der Rotation des Rades durch die Zwischenräume hervorgebracht wird, in Wegfall kommt, die Reibung des Rades in Dampf also vermindert wird.

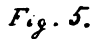
Die Befestigung der Schaufeln am Laufrade erfolgt nur dadurch, daß dieselben in den ringförmigen Nuten durch die Sckrauben b festgeklemmt werden.

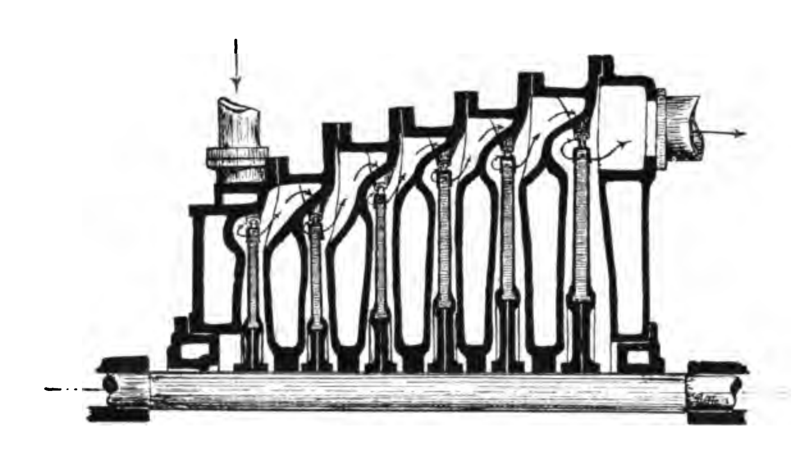
Mit dieser Konstruktion soll durch die vorher beschriebene Materialverteilung ein Turbinenrad von annähernd gleicher Festigkeit geschaffen werden, es soll ein möglichst großer Raddurchmesser, also eine große Umfangsgeschwindigkeit erzielt, und damit zusammenhängend bei gleicher Leistung eine Verminderung der Druckstufen herbeigeführt werden, wie dies alles auch z. B. mit der Riedler-Stumpf-Turbine angestrebt wird.

Die ersten Zoelly-Turbinen erhielten partielle Stirnbeaufschlagung ohne Leitring bezw. Leitrad. Der Dampfstrahl traf,

durch eine Anzahl Düsen, welche gleichmäßig im Gehäuse verteilt waren, geleitet, die Schaufeln, und der Austritt des Dampfes erfolgte, durch die Form der Peltonschaufel gezwungen, an beiden Seiten des Rades. Damit der Dampf frei austreten konnte, waren die Scheiben c so groß gewählt, daß das letzte Ende der Schaufeln frei blieb.

Bei den späteren Konstruktionen wurden die Schaufeln immer mehr und mehr und zuletzt ganz durch die Scheiben c bedeckt, siehe Figuren 3 und 4. Für den Austritt des Dampfes wurden entsprechend große Ausschnitte d vorgesehen. Ferner





wurde im Gehäuse ein sogenannter Leitring e angebracht, der durch Halter und Schrauben an den Düsen befestigt wurde. Dieser Leitring, welcher die Schaufeln auf ihrer ganzen Breite überdeckt, umschließt U-förmig mit geringem Spielraum den äußeren Umfang des Laufrades.

Ist eine partielle Beaufschlagung angeordnet, wie die Figuren 3 und 4 zeigen, so sind an den seitlichen Teilen des Leitringes für den Austritt des Dampfes nur die notwendigen Öffnungen f vorgesehen. Bei voller Beaufschlagung sind diese Öffnungen am ganzen Umfange gleichmäßig verteilt vorhanden.

Nach demselben Prinzip ist die Dampfturbine von Riedler-Stumpf konstruiert, bei der ebenfalls ein Peltonrad mit äußerer Beaufschlagung arbeitet, nur mit dem Unterschied, daß die Schaufeln nicht eingesetzt, sondern in den Umfang des Rades eingefräst sind.

Eine mehrstufige Turbine von Zoelly nach diesem System zeigt die Figur 5.

Diese Skizze stellt die obere Hälfte eines achsialen Schnitts durch die Turbine dar. Die einzelnen Turbinenräder nehmen in der Wegrichtung des Dampfes im Durchmesser zu, doch sind auch Zoelly-Turbinen konstruiert worden, deren Räder durchweg den gleichen Durchmesser hatten. Der Ausströmungsraum des ersten Rades ist hier gleichzeitig Speiseraum für den Leitring des zweiten usw. Bei der Konstruktion der Ausströmungsräume ist man davon ausgegangen, den zu beiden Seiten aus den Schaufeln tretenden Dampf auf dem Wege zu den Düsen des nächsten Leitrades gleichzurichten. Der Dampf, welcher hier links austritt, nimmt seinen Weg an der Eintrittsdüse für diese Stufe vorbei zur Düse der nächsten Stufe, vereinigt sich aber vorher mit dem rechts austretenden Dampf.

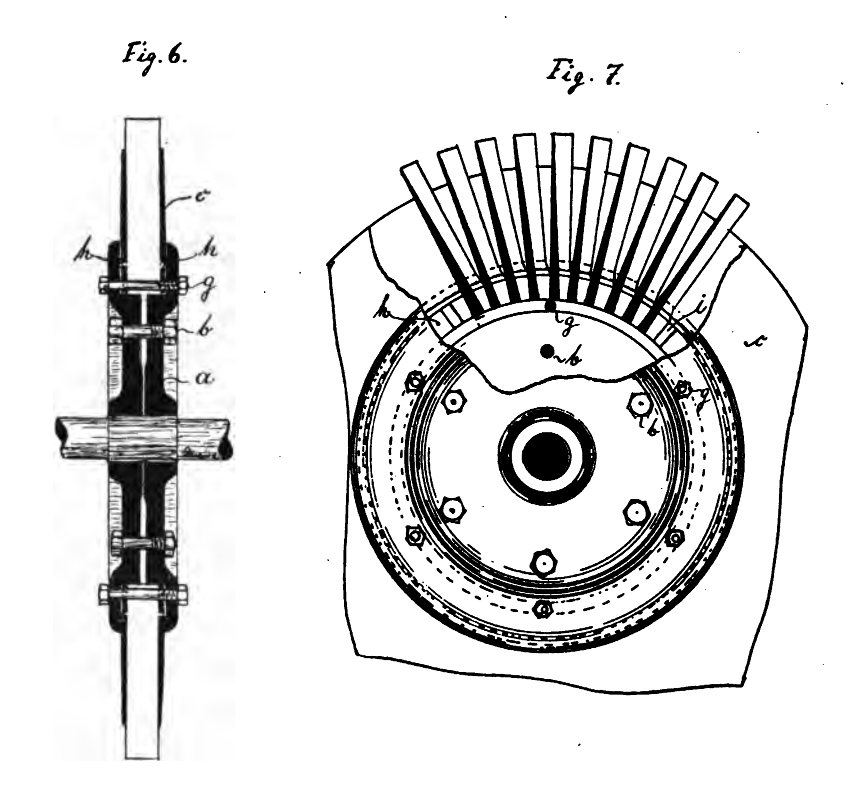
Das aus Gußeisen hergestellte Gehäuse ist aus einzelnen Teilen zusammengesetzt und die Welle nur außerhalb der Turbinenräume gelagert.

Die Dampfturbine nach Figur 5 zeigt die gleiche Konstruktion für alle 6 Turbinenräder hinsichtlich ihrer Beaufschlagung unter Anwendung einfacher Düsen (ähnlich Laval).

Turbinen in dieser Ausführung für die Hoch- und Niederdruckturbinen in größerem Maßstabe zu bauen, dürfte nicht vorteilhaft sein, da es fraglich erscheint, daß der Dampf bis zu einer geeigneten Kondensatorspannung herab ausgenützt werden kann, weil die Dampfdurchgänge für die letzten Niederdruckräder sehr große Areale verlangen.

Die Schaufeln erhielten anfänglich eine große Länge und mindestens eine doppelte Länge im Vergleich zum Radius

der Nabelscheibe, wie die Figuren 3 und 4 deutlich zeigen. Bei neueren Turbinen werden diese Schaufeln aber nicht mehr so ausgeführt, sondern wesentlich verkürzt. Auch die Peltonform nach Figur 1 mußte der Schaufelform nach Figur 2 für die seitliche (achsiale) Beaufschlagung weichen, da letztere große Vorzüge besitzt.



Die Füße der Schaufeln wurden deshalb nicht mehr parallel, sondern schief zur Radachse angeordnet, und als Grund hierfür wurde angegeben, daß hierdurch einmal eine günstigere Materialverteilung möglich wäre, dann aber auch eine leichtere und bequemere Herstellung der Schaufeln erzielt würde.

Diese neue Schaufelkonstruktion hat wohl aber ihren Hauptgrund in der Erkenntnis, daß man mit der äußeren Beaufschlagung nicht auskommen dürfte, und daß deshalb

vorgezogen wurde, von der radialen zur achsialen bezw. gemischten Beaufschlagung überzugehen.

Die Herstellung der neuen Schaufel Figur 2 erfolgt in der Weise, daß man geeignete große Plattenstücke zwischen konischen Walzen auf den gewünschten Querschnitt bringt. Damit nun diese Stücke auf ein genau gleiches Gewicht und eine ganz bestimmte Dicke gebracht werden können, werden sie hierauf in die Vertiefung einer Platte gelegt, die den vorgeschriebenen Maßen genau entspricht, und die entstehende Schaufel wird zwischen zylindrischen Walzen nochmals ausgewalzt. Hierauf wird die Schaufel auf ihre richtige Größe ausgestanzt, der Fuß angefräst und in einer Presse in die richtige Form gebogen.

Die Befestigung der Schaufeln erfolgt nun derart, daß in die ringförmige Nute jeder Nabenscheibe je ein Ring h gelegt wird.

Diese Ringe sind mit so vielen Ausschnitten i versehen, wie Schaufeln zur Anwendung gelangen sollen. Jeder der Ausschnitte i hat genau die Größe, daß der Fuß einer Schaufel hineinpaßt. Die Ausschnitte beider Ringe sind so gegen einander versetzt, Figur 2, wie es die gewünschte Stellung für die Schaufel bedingt. Durch die Schrauben g werden die Ringe h in dieser Stellung festgehalten und läßt sich durch Verschiebung der Ringe eine gleichmäßige Änderung der Schaufelstellung herbeiführen.

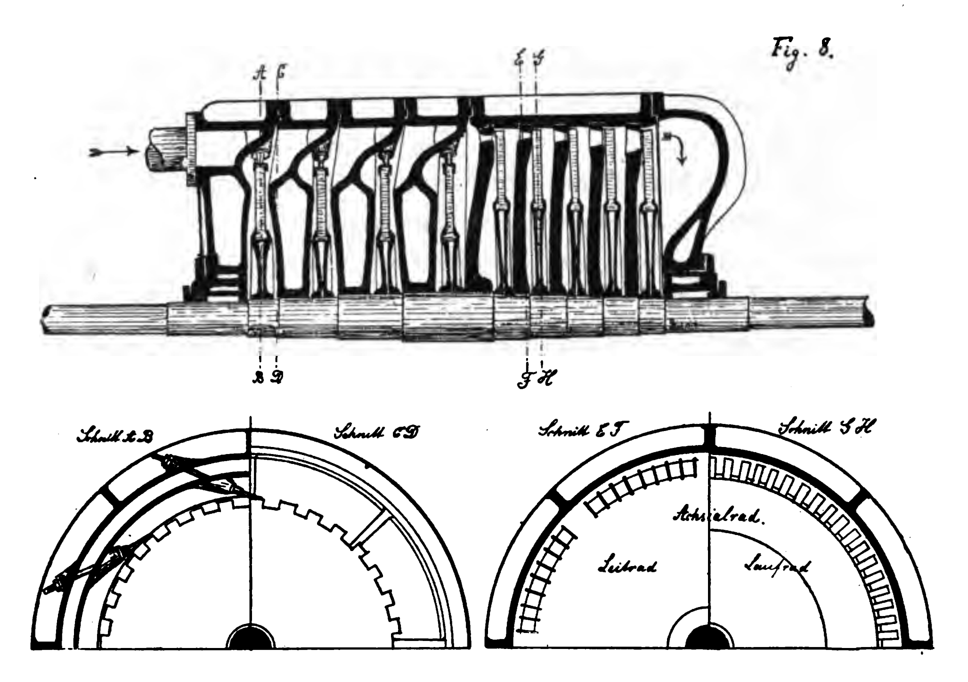
Nach meiner Ansicht ist die Verbindung der langen federnden Schaufeln mit der Nabe keine sehr solide, denn die Füße der Schaufeln sind verhältnismäßig sehr kurz und zwischen den beiden Scheiben der Nabe nur mit wenigen leichten Halteschrauben festgeklemmt. Demgegenüber müssen kürzere und solider mit der Nabe verbundene Schaufeln vorzuziehen sein.

Nach den ersten Versuchen entstand eine zum Teil mit Schaufeln neuer Konstruktion armierte, mehrstufige Turbine mit gemischter Beaufschlagung nach Figur 8, die auch in dem Werk von Dr. A. Stodola enthalten ist.

Diese Turbine hat neun Stufen, die vier ersten erhielten Peltonräder mit Stirnbeaufschlagung, die fünf übrigen sind achsial beaufschlagt.

Auch für diese Konstruktion hat die Firma Escher, Wyss & Co. die Grundform der Laufräder, strahlenförmig angeordnete, federnde Schaufeln, wieder zur Anwendung gebracht.

Die erste Hälfte dieser Turbine unterscheidet sich von der Konstruktion Figur 5 nur dadurch, daß alle vier Laufräder denselben



Durchmesser haben, doch ist diese Möglichkeit auch schon bei der Beschreibung der Figur 5 erwähnt. Die Anzahl der Düsen ist verdoppelt, also auf die Zahl 8 gebracht, und der Durchmesser der Welle ist nach der Mitte zu für jede Stufe verstärkt worden. Die Lagerung der Turbinenwelle ist wieder nur außerhalb der Turbinenräume vorgesehen.

Die zweite Hälfte zeigt eine ganz neue Anordnung. Ebenso wie bei der Rateau-Turbine sind hier die einzelnen Druckstufen durch Trennungswände, die dampfdicht in das

Turbinengehäuse eingesetzt und auch auf der Welle abgedichtet sind, abgeschlossen. Diese Trennungswände bilden zugleich die Leiträder oder Leitkränze, denn am äußeren Umfang befinden sich die Durchgangsöffnungen für den treibenden Dampf der nächsten Stufe. Figur 9 zeigt eine solche Trennungswand im Schnitt und Ansicht, die zugehörige Leitschaufel und die Art ihrer Befestigung, dem Patent vom September 1903 entsprechend.

Jede Leitschaufel k ist mit einem Ansatz l versehen, der in einen entsprechenden Einschnitt m des Leitringes n paßt; sämtliche Schaufeln sind durch einen Schloßring o gesichert.

Die Leitschaufelfläche steht schräg zur Turbinenachse, so daß der Dampfstrahl unter passendem Winkel die dicht an der Trennungswand bezw. dem Leitring vorbeilaufende Schaufel des Laufrades trifft.

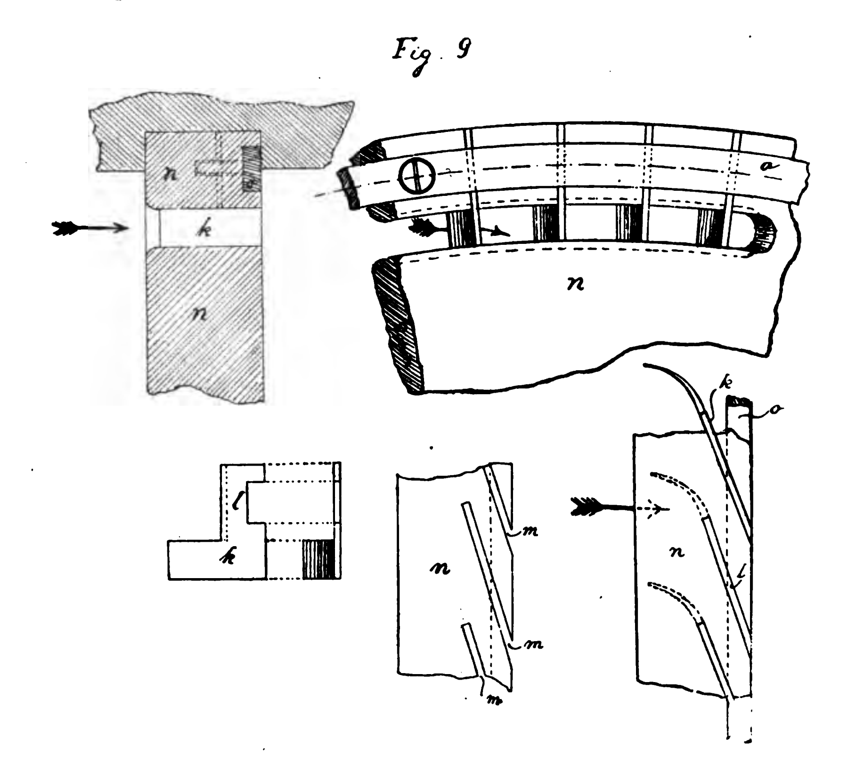
Der Vorteil, der durch die achsiale Beaufschlagung in der zweiten Hälfte dieser Turbine erzielt wird, geht schon aus der Skizze, Figur 8, deutlich hervor. Die achsial beaufschlagten Räder haben hier in dem gemeinsamen zylindrischen Gehäuse einen bedeutend größeren Durchmesser, als die auf der Stirnseite beaufschlagten Hochdruckräder, der Dampf gelangt seitlich, also auf dem kürzesten Wege, von einer Stufe zur anderen, und in demselben Raum können bedeutend mehr Stufen untergebracht werden. Solche Raumersparnis ist von großem Wert, ganz besonders aber für Turbinen für Schiffszwecke.

Die hierauf folgenden Dampfturbinen, welche in den Maschinenfabriken der Aktiengesellschaft Escher, Wyss & Co. hergestellt sind, werden als mehrstufige Aktionsturbinen mit rein achsialer Beaufschlagung gebaut. Die Konstruktion der Laufräder ist anfangs dieselbe geblieben, wie in den Figuren 6 und 7 angegeben. Die Laufräder laufen zwischen Leitkränzen, die gleichzeitig die Trennungswände der einzelnen Stufen bilden und dampfdicht in das Turbinengehäuse eingesetzt sind. Figur 9.

Die Zoelly-Turbine wurde nun immer weiter vervollkommnet und hauptsächlich das Laufrad einer eingehenden Verbesserung unterzogen.

Durch einige Zeichnungen und Angaben über den Dampfverbrauch, die mir von der Firma Escher, Wyss & Co. überlassen wurden, ist es mir möglich, auch die neuesten Konstruktionen zu bringen.

Fig. 9



Die jetzigen Laufräder, Figur 10, werden aus bestem Siemens-Martin-Stahl als Scheiben geschmiedet, genau abgedreht und sind mit der Nabe aus einem Stück hergestellt. Am Umfang dieser Scheiben ist ein nutenförmiger Kanal vorgesehen, der durch den Scheibenrand selbst und durch den gegengeschraubten Ring s gebildet wird. Dieser Kanal dient zur Aufnahme der Schaufelfüße und besitzt einen ähnlichen Querschnitt, wie bei

den früheren Laufradkonstruktionen. Hauptsächlich durch den Ring s, der von einer größeren Anzahl Schrauben gehalten wird, ist die Befestigung der Schaufeln eine einfachere und solidere geworden.

Die Schaufeln sind gegen früher wesentlich verkürzt, die Konstruktion ist aber im allgemeinen dieselbe, wie die Figur 2 zeigt. Die Querschnitte des Laufrades und der Schaufeln nehmen auch hier nach dem Umfange zu in einem ganz bestimmten Verhältnis ab und die Widerstandsfähigkeit, selbst bei den höchstzulässigen Umfangsgeschwindigkeiten, ist ungefähr in allen Teilen des Laufrades gleich groß.

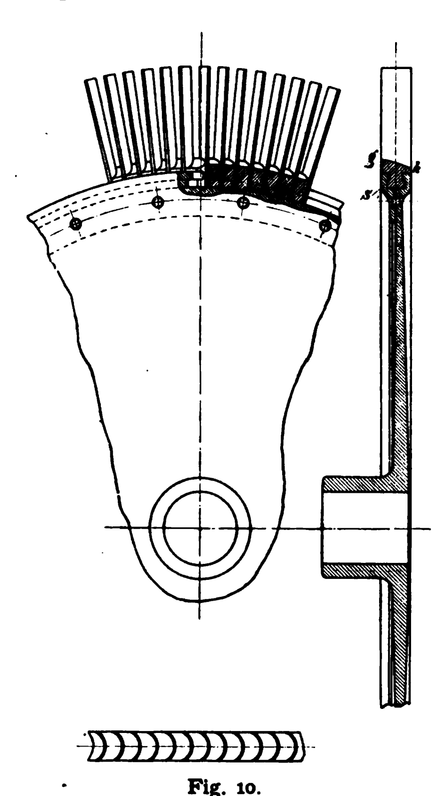


Fig. 10.

Um den nötigen Abstand für die aus Nickelstahl gefertigten Schaufeln herzustellen, sind Distanzstücke zwischen dieselben gelegt, deren Breite und Höhe den Dimensionen der Schaufelfüße entsprechen. Diese gleichfalls aus Stahl gefertigten Zwischenstücke sind nach der Seite des austretenden Dampfes hin, entsprechend der Expansion desselben, niedriger, siehe die Kurve g, h. Durch den hierdurch zwischen den Schaufeln langsam größer werdenden Raum wird ein guter Übergang für den Dampf aus dem Laufrad zur nächsten Stufe, also zum folgenden Leitkranz hergestellt.

Die Laufräder, die Schaufeln und die Zwischenstücke sind in allen Teilen, die mit dem treibenden Dampf in Berührung kommen, sorgfältig bearbeitet und poliert, wodurch die Oxydation dieser

Flächen möglichst verhindert und die Reibung des Dampfes soviel als angängig beseitigt wird.

Bei der Rateau-Turbine werden die Laufräder aus rohen, ungebörtelten Blechscheiben hergestellt und auf diese Umbörtelungen die Schaufeln in einfacher Weise aufgenietet. Hieraus geht hervor, daß die Konstruktion der Laufräder beider Systeme wesentlich verschieden ist.

Die Laufräder werden vor dem Einbau genau ausbalanziert und die Erprobung auf Festigkeit findet mit einer bedeutend höheren Umlaufgeschwindigkeit statt, als die, welche für die geforderte Leistung der Turbine später notwendig wird.

Die einzelnen Druckstufen sind auch hier durch Scheidewände, die gleichzeitig die Leiträder, richtiger gesagt die Leitkränze bilden, getrennt. Leit- und Laufräder erhalten jetzt für alle Stufen denselben Durchmesser. Die Leitkränze sind aus Stahlguß gefertigt und zur Aufnahme des einseitigen Druckes, bezw. der Druckdifferenz zweier aufeinander folgender Stufen, nach der Seite des eintretenden Dampfes zu gewölbt.

Die im Turbinengehäuse dampfdicht eingebauten Leitkränze sind aus zwei Hälften hergestellt, dieselben sind ebenso wie das Gehäuse in der horizontalen Mittelebene geteilt.

Die hierdurch notwendig werdenden Dichtungsflächen des Gehäuses und der Leitkränze sind sorgfältig aufgeschliffen, Dichtungsmaterial kommt also nicht zur Anwendung. Die oberen Hälften der Leiträder sind durch Kopfschrauben mit dem Gehäuse verbunden, so daß beim Aufnehmen desselben die oberen Leitkranzhälften mit abgehoben werden und die Laufräder bequem zu besichtigen sind. Am äußeren Umfang besitzen die Leitkränze einen vorstehenden Rand k. Hierdurch liegen die einzelnen Leiträder fest aneinander und durch die hierbei gebildeten Zwischenräume werden die Laufräder vollständig umschlossen. Die Naben der Laufräder durchdringen die Leitkränze und der Abschluß des Dampfes wird hier durch eine sogenannte Labyrinthdichtung, wie

dies auch bei der Abdichtung der Entlastungskolben der Parsons-Turbine erfolgt, hergestellt.

In Figur 11 ist die konstruktive Ausführung der Leitkränze und der einzelnen Teile derselben dargestellt. Die Schaufeln sind durch die Stege p in Gruppen geteilt und diese Stege werden mittels Federn und Nuten und durch den schmiedeeisernen Ring h in der richtigen Lage festgehalten.

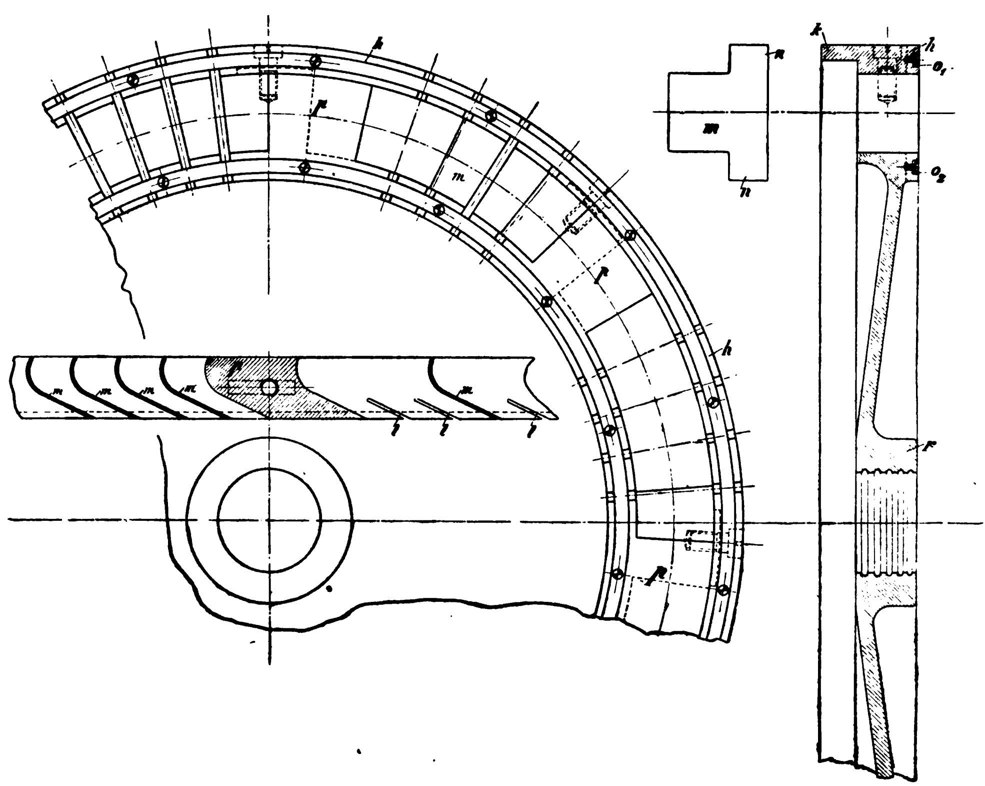


Fig. 11.

Die Konstruktion der Leitschaufeln. ist ebenfalls geändert worden. Die Leitschaufeln, welche nach den Niederdruckstufen zu an Größe und Anzahl zunehmen, erhalten vor dem Einsetzen in die Leitkränze die in Figur 11 angegebene Form. Die Kanäle in den Leitkränzen für den durchströmenden Dampf sind jetzt nach dem Umfange und dem Mittelpunkt zu mit entsprechenden

Einschnitten zur Aufnahme der Leitschaufeln versehen. Die Schaufeln m werden mit den beiden Ansätzen n fest in diese Einschnitte eingepaßt, darauf die Nuten o_1 und o_2 eingedreht, in diese, ebenso wie in Figur 9 dargestellt, Sicherheitsringe eingelegt und die letzteren in bekannter Weise durch Schrauben befestigt. Diese Befestigung ist eine durchaus sichere, da hierdurch ein Lösen oder Herausfallen der Schaufeln unmöglich wird.

Das Volumen des Dampfes, welches pro Zeiteinheit durch die Leitschaufeln tritt und hier expandiert, beansprucht auf seinem Wege einen immer größer werdenden Raum. Die ersten Leitkanäle sind aus diesem Grunde verhältnismäßig klein und die Laufräder erhalten hier, wie schon erwähnt, eine partielle Beaufschlagung. Die Querschnitte dieser Kanäle und die Anzahl der Leitschaufeln nehmen in der Wegrichtung des Dampfes langsam zu, so daß die Beaufschlagung der letzten Niederdruckstufen eine totale wird.

Da diese Turbine eine reine Aktionsturbine ist, so ist der Dampfdruck auf beiden Seiten eines jeden Rades gleich groß und ein achsialer Schub wird als nicht vorhanden angenommen, wodurch Entlastungskolben, wie sie z. B. bei der Parsons-Turbine notwendig werden, in Wegfall kommen.

Nach meinem Dafürhalten wird jedoch ein geringer achsialer Schub in der Wegrichtung des Dampfes, der durch das Aufschlagen des Dampfstrahls auf die schräg zur Achse stehenden Leitschaufeln hervorgerufen wird, sich nicht vermeiden lassen.

Die Räume zwischen den feststehenden und laufenden Teilen der Turbine können ziemlich groß gemacht werden, die Ausdehnung durch den treibenden Dampf, die hier nicht so bedeutend ist, wie bei den Reaktionsturbinen, hat also keinen Einfluss auf das Anstreifen der Schaufeln etc. an feststehende Teile.

Figur 12 (siehe Tafel) zeigt die neueste Zoelly-Turbine. Dieselbe ist nach Art der Verbundmaschinen ausgeführt, indem die Gehäuse für Hoch- und Niederdruck getrennt sind. Die Verbindung für den übertretenden Dampf zwischen beiden erfolgt

durch eine Rohrleitung, die unterhalb des Fundaments geführt ist. Die unteren Gehäusehälften sind mit kräftigen Füßen aus einem Stück hergestellt und stehen damit auf einem Fundamentrahmen, die Verbindung erfolgt hier mittels starker Schraubenbolzen.

Die Gehäuse sind, ähnlich wie die Dampfzylinder einer Kolbenmaschine, mit schlechten Wärmeleitern umhüllt und darüber ist eine aus poliertem Stahlblech gefertigte Bekleidung gelegt und befestigt.

Eine Wärmeübertragung durch die Füße und den Rahmen auf die Lager, und eine Beeinflussung derselben durch Ausdehnung, ist nicht anzunehmen, weil die Welle unabhängig vom Turbinengehäuse gelagert ist. Die Welle ist durch Stopfbüchsen in den Stirnflächen der Gehäuse gedichtet, die hierzu verwendeten Metallpackungen sind als Labyrinthdichtungen ausgeführt.

Von dieser Welle aus wird mittels Schneckenradübersetzung eine Ölpumpe angetrieben, die eine zuverlässige Schmierung der Lager herbeiführt. Das wieder aus den Lagern tretende Öl wird in einem Filter gereinigt und durch einen Behälter geleitet. Kühlschlangen, die hier angebracht sind, dienen, wenn notwendig, zur Abkühlung des Öls, ehe es seinen Kreislauf wiederholt.

Durch die Trennung der Hoch- und Niederdruckturbine, und durch das hierdurch notwendig werdende mittlere Unterstützungslager erhält die Turbine nach meiner Ansicht eine unnötige Länge und das Verbindungsrohr für den Übertritt des Dampfes ist für die anzustrebende Erhaltung der Energie desselben nicht vorteilhaft.

Die Raumersparnis, bezogen auf die Grundfläche, die für den Antrieb der Dynamomaschinen usw., hauptsächlich auf Kriegsschiffen, mit ausschlaggebend für die Wahl des Motors ist, kommt hier nicht genügend zur Geltung.

Aus diesem Grunde scheint es wünschenswert, dass das Mittellager wegfällt und die Hoch- und Niederdruckräder In einem Gehäuse untergebracht werden.

Die Regulierung der Turbine erfolgt durch einen Servomotor, der in Verbindung mit einem Federregulator die Eintrittsspannung

des Dampfes so reguliert, wie es die entsprechende Belastung der Turbine erfordert.

Der Regulator k überträgt seine Bewegung auf den Steuerschieber c des Servomotors.

Ebenso wie die Ölpumpe zur Schmierung der Lager, wird eine zweite kleine Druckpumpe mit gleichem Antrieb für den Servomotor benützt.

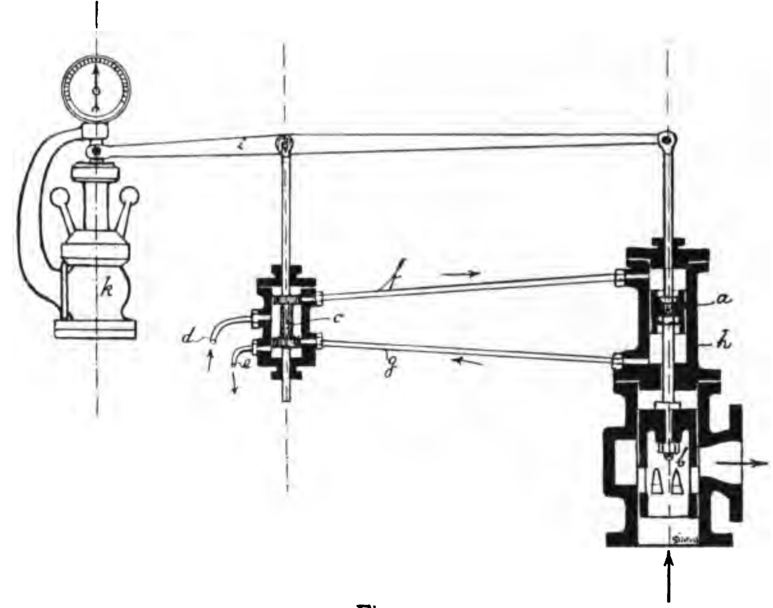


Fig. 13.

Die letztgenannte Pumpe steht mit dem Schieber c durch die Hin- und Rückleitung d und e in Verbindung. Die Hinleitung enthält einen kleinen Sammler, die Rückleitung führt zum Saugebehälter der Pumpe. Durch die beiden Leitungen f und g ist das Gehäuse des Steuerschiebers c mit dem Servomotorzylinder h verbunden, in dem sich der Druckkolben a bewegt. Mit diesem an einer gemeinsamen Stange ist der als Regulierventil dienende Kolbenschieber b befestigt, dessen oberer Gehäuseteil den Servomotorzylinder trägt. Der Kolbenschieber b ist nach oben zu durchbohrt und dadurch entlastet.

Wird z. B. infolge Mehrbelastung der Dynamomaschine etc. die Umlaufszahl der Turbine verringert, so wird der Regulator k den Hebel i herabziehen und der Schieber c wird ebenfalls abwärts geführt werden. Hierdurch wird die Verbindung zwischen d und g hergestellt und der Kolben a mit dem Regulierschieber b durch die jetzt entgegengesetzt der Pfeilrichtung strömende Druckflüssigkeit gehoben. Die Flüssigkeit über dem Kolben a tritt durch das Rohr f, den Schieber c und das Rohr e zum Saugebehälter der Pumpe zurück.

Durch das Heben des Regulierschiebers b werden die Querschnitte für den Dampfzutritt vergrößert und die Turbine mit der Dynamomaschine etc. gehen zu einer schnelleren Gangart über.

Erfolgt der umgekehrte Fall, so tritt die Druckflüssigkeit von der Pumpe durch die Rohre d und f über den Kolben a und durch g und e zum Saugebehälter, wie es die Pfeilrichtungen angeben. Der Kolben a und der Regulierschieber werden abwärts gedrückt, der Dampfzutritt zur Turbine verringert und die Gangart derselben langsamer.

Um einen sanften Übergang von einer Geschwindigkeit zur anderen zu erzielen, den Regulator aber schon bei kleinen Belastungsänderungen wirksam eingreifen zu lassen, haben die Durchgangsöffnungen im Regulierschieber b die Form eines gleichschenkligen Dreiecks mit langgezogener Spitze.

Diese Regulierung ist in ähnlicher Weise von der Firma Escher, Wyss & Co. auch bei den Wasserturbinen angewendet worden. Dieselbe hat sich gut bewährt, denn die Umdrehungsschwankungen bei selbst großen Belastungsänderungen machen sich wenig bemerkbar.

Wenn nun diese Art der Regulierung des Dampfzutrittes zur Turbine durch Drosselung auch sehr einfach ist und viele Anhänger besitzt, so wäre es doch auch wünschenswert, daß hier eine Reguliervorrichtung konstruiert würde, die unter voller Beibehaltung des Kesseldrucks die vollständige Ausnützung der Expansionskraft des Dampfes gestattete. Durch direkte Zuführung

von Dampf zur zweiten, oder einer der folgenden Stufen, kann die Arbeit der Zoelly-Turbine gesteigert werden. Das Durchgehen derselben beim Versagen des Regulators und einer gleichzeitig stattfindenden größeren Druckentlastung wird durch eine Sicherheitsvorrichtung verhindert, indem bei einer gewissen Umdrehungsanzahl der Regulierschieber ausgelöst, zugeschlagen und dadurch die Turbine abgestellt wird.



Fig. 14.

Die Betriebssicherheit der Turbine ist durch Zulässigkeit großer Spielräume zwischen bewegten und feststehenden Teilen, durch Wegfall von Entlastungskolben, durch Zugänglichkeit aller inneren Räume, der Leit- und Laufräder und der Lagerung der Welle usw. eine gute.

Eine Turbine, welche nach diesem System gebaut ist, befindet sich in den Werkstätten der Firma Escher, Wyss & Co. in Zürich in Betrieb. Dieselbe ist, wie Figur 14 zeigt, mit einer Dynamomaschine von Siemens-Schuckert direkt gekuppelt, für 500 PS konstruiert und wurde im Herbst 1903 in Betrieb genommen.

Versuchs-

	Bezeichnung.		Trockener	
1	**Versuch Nr.**		1	2
2	Tag		21. 12. 03	25. 1. 04
3	Beginn		3 h 10	3 h 15
4	Ende		6 h 10	4 h 35
5	Dauer in Minuten		180	80
6	Brutto-Leistung K. W.		363,78	388,47
7	Erreger-Voltampère K. W.		0,72	0,82
8	Nutzleistung (abzüglich Erregung) K. W.		363,06	387,65
9	Umdrehungszahl		2967	2967
10	Druck absol. in kg	vor dem Wasserabscheider.	11,16	11,16
11	Temperatur ^{0}C		187,2	187,6
12	Sättigungstemperatur ^{0}C		173,7	183,7
13	Überhitzung ^{0}C		3,5	3,9
14	Druck absol. in kg	vor dem ersten Leitrad.	(10,1)?	10,11
15	Temperatur ^{0}C		179,9	180,0
16	Sättigungstemperatur ^{0}C		178,9	179,4
17	Überhitzung		1,0	0,6
18	Druck absol. in kg	im Auspuffrohr.	0,0715	0,0721
19	Temperatur ^{0}C		39,1	39,9
20	Druck absol. in kg. im Kondensator		—	0,946
21	Temperatur am Kondensator ^{0}C	Rohr Behälter	22,5 23,9	22,4 23,9
22	Barometerstand am QS.		736	731
23	Dampfverbrauch pro Stunde in kg		3585,0	3776,6
24	Dampfverbrauch pro Nutz K. W. Stunde in kg		9878	9,742

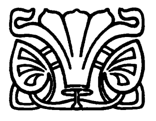
Resultate.

Dampf.						Überhitzter Dampf.		
3	4	5	6	7	8	9	10	11
25. 1. 04	25. 1. 04	25. 1. 04	18. 1. 04	25. 1. 04	25. 1. 04	5. 2. 04	5. 1. 04	5. 1. 04
3 h 55	2 h 45	1 h 30	4 h 00	11 h 25	10 h 35	3 h 50	3 h 50	11 h 15
4 h 45	3 h 35	2 h 20	5 h 00	12 h 25	11 h 10	5 h 00	4 h 10	12 h 35
50	50	50	60	60	35	70	20	80
335,31	240,78	182,85	80,62	—	—	392,5	390,41	391,2
0,80	0,68	0,63	0,49	0,497	—	0,81	0,806	0,816
334.51	240,10	182,22	80,13	—	—	391,66	389,6	390,4
2977	2983	2984	2995	2995	3000	2972	2973	2968
10,90	11,01	10,97	11,04	11,03	11,19	12,81	13,13	11,26
184,7	185,3	185,1	184,9	184,9	185,7	247,1	258,5	226,6
182,6	183,1	182,9	183,2	183,15	183,8	189,95	191,02	184,10
2,1	2,2	2,2	1,7	1,8	1,9	57,2	67,5	42,5
9,03	6,92	5,47	3,07	1,22	0,747	9,72	9,72	9,80
175,1	164,9	156,6	136,0	108,8	102,9	216,5	219,6	216,5
174,5	163,6	154,4	133,6	104,7	91,2	177,6	177,6	178,0
0,6	1,3	2,2	2,4	4,1	11,7	38,9	41,4	38,5
0,0697	0,0657	0,0661	0,0521	0,0510	0,0514	0,0653	0,0664	0,0692
38,9	37,1	36,6	32,7	32,2	42,1	38,0	38,8	38,0
0,0471	0,051	6,053	0,044	0,044	0,046	0,040	0,042	0,042
22,2 24,8	22,8 26,2	24,1 26,8	— 23,6	16,5 26,2	16,5 27,1	20,2 22,4	20,5 22,4	20,4 23,7
730	730	730	733	730	731	715	715	715
3368,5	26,210	2124,2	1202,0	465,0	295,4	3327,0	3327,0	3505,7
10,070	10,916	11,657	15,0	—	—	8,633	8,539	8,98

Die in vorstehender Tabelle angegebenen Versuche wurden durch Herrn Prof. Dr. A. Stodola an dieser Turbine festgestellt.

Zu 20 ist zu bemerken, daß die Turbine mit einem sehr günstigen Vacuum arbeitete. Wenn nun auch die Leistung, die zur Erzielung des Vacuums notwendig war, hier in der Tabelle nicht in Anrechnung gebracht wurde, so ist dies gegenüber der Gesamtleistung, 600 PS im Maximum, nicht von Bedeutung. Es würden an Arbeitsaufwand für Luft- und Zirkulationspumpe nur etwa 1 % der Gesamtleistung, hier also nur bis 6 PS in Abrechnung zu bringen sein.

Wünschenswert wäre es nur, dass an Bord der Kriegsschiffe, die ja besonders als Feld für den Turbinenbau in Aussicht genommen sind, ähnliche günstige Verhältnisse in bezug auf Dampftemperaturen und Vaccuum herrschen möchten, wie bei diesen Versuchen.



Buchdruckerei Julius Abel, Greifswald.



